

黄金科技丛书

金银矿产选集

第一集

庆祝黄金情报网成立十周年

冶金工业部黄金情报网
冶金工业部长春黄金研究所

一九八四年六月

PDG

前 言

冶金部黄金情报网为庆祝建网十周年，编辑出版《金银矿产选集》第一集。是对十年来在金银矿产方面，科研及学术上和找矿勘探工作上的总结。

《选集》刊载了有关主要地质院校和科研单位以及从事野外地质找矿勘探工作同志撰写的有关金银矿床地质特征，典型金银矿区的成矿理论与找矿工作的经验，成因矿物学和矿物标型特征等方面论文共33篇。

上述论文内容比较丰富和系统，具备了先进性、科学性和适用性的要求。是迄今为止、对我国金银矿产讨论的比较全面的文献。对进一步研究和在我国寻找不同类型金银矿床有一定积极的参考价值。

《选集》责任编辑由冶金部黄金情报网地质站（吉林省冶金地质勘探公司研究所）杜希明工程师负责，由于编者水平所限，难免有错误和不当之处，请批评指正。

冶金部黄金情报网

一九八四年六月

目 录

内生金矿床成因与地幔地壳演化.....	(1)
原生大型金矿床的几个主要地质标志.....	(4)
金矿成矿作用的多样性与多期性及金矿床的多成因性机理的探讨.....	(10)
中国金矿床的矿物成因组合.....	(17)
试论金与铁的共生关系及其找矿问题.....	(27)
某些矿物中次显微金的电子显微镜和电子探针研究.....	(33)
我国某些金矿床中黄铁矿的特征.....	(39)
岩浆作用与金矿化.....	(46)
金矿床中主要伴生元素的地球化学行为及其找矿意义.....	(54)
含金矿物分类的探讨.....	(61)
金矿床研究中使用和解释硫同位素数据的某些原则和方法.....	(67)
黑龙江省东部地区山金矿成矿机理的探讨.....	(85)
吉林夹皮沟矿区二道沟矿床深部矿体的发现.....	(91)
吉林夹皮沟金矿床成因与富集规律.....	(107)
吉林夹皮沟金矿区的成因矿物学研究.....	(130)
吉林夹皮沟三道岔金矿床一些元素的成因分类、 相关分类及其地质找矿意义.....	(156)
吉林刺猬沟金矿床成因特征.....	(168)
吉林小西南岔铜金矿床地质特征及其成因讨论.....	(178)
辽宁四道沟金矿控矿地质因素及找矿模式.....	(192)
应用矿物包体探讨辽宁白云金矿床成矿物理化学条件.....	(207)
内蒙昭盟南部内生金矿床成矿条件的初步探讨.....	(213)
河北张家口金矿田控矿因素初步分析.....	(223)
从矿物特征看玲珑金矿的成因.....	(233)
山东新城金矿床地质特征及成矿机理的初步研究.....	(242)
浅谈“玲珑式与焦家式”金矿床的地质成因共同特征.....	(248)
安徽铜陵代家冲含金铁帽的物质组成及金赋存状态的初步研究.....	(251)
湖北某金矿自然金及相关金属黄铁矿标型特征.....	(259)
湖南浏阳七宝山多金属矿床伴生金特征研究.....	(266)
浙江遂昌——龙泉地区金银矿床石英和黄铁矿的标型特征.....	(272)
赣北某金矿物质成分和黄铁矿标型特征及矿床成因探讨.....	(280)
陕西李家沟金矿床黄铁矿某些特征及矿床成因.....	(289)
陕西磨子沟金矿地质特征及找矿前景.....	(298)
新疆托里金矿田地质特征及其成因的探讨.....	(306)

内生金矿床成因与地幔地壳演化

胡伦积 戚长谋

(长春地质学院)

金矿是当前世界重视的找矿对象,在我国仍属急需短缺矿种。如何认识金矿床的形成规律,提供找矿的理论前提,仍是当前地学界尚待深入研究的重要课题。

关于金矿床的成因, W. H. Emmons 最早进行过系统的研究,他对内生金矿的成因,在 P. Niggli 岩浆演化理论的基础上,强调了热液成因的重要性,指出酸性小侵入体作为成矿母岩的作用。近二十年来,世界性对金的找矿和探矿的不断扩大,对于金矿床成因的研究范畴,从单一的成矿作用逐渐扩大到与成矿地质作用相结合。例如:关于金矿床成因类型的划分,分别提出沉积变质;混合岩化;重熔岩浆——热液及其各种过渡类型等不同类型。从某一成矿作用的角度研究金矿床的成因,它对于反映矿床形成的某些特定的规律是有意义的。作者认为从地球物质演化的角度,来研究金的迁移。分散和富集,将能够更为系统的认识金矿床的形成规律。本文试从地幔地壳的演化与内生金矿床的成因关系进行某些简要探讨。

一、金的原始成矿物质来源

人类采金的历史,对金与酸性岩石(如花岗岩、花岗片麻岩)和硅氧化物(石英、燧石等)的密切关系有深刻印象,然而,从地球的不同圈层和地壳中不同岩浆岩金的分布量看,金则明显的与暗色岩石的关系特别密切。

据1339个不同类型的岩浆岩统计:金在基性岩石中的含量约为酸性岩石的4.1倍。(表1)。

表1 金在不同类型岩浆中的含量

岩石类型	岩石名称	样品数	金平均含量 (PPb)
酸性岩	花岗岩、流纹岩等	498	1.6
中性岩	闪长岩、石英闪长岩	261	3.2
基性岩	辉长岩、辉长岩闪长岩等	580	4.8

(据 R. W. Boyle 等1979)

金的上述分配的特点具有全球性。如若从金在地球不同圈层中的含量看,金的分布也具有明显类似的规律:地壳岩石圈含金3.5 PPb;地幔中为5 PPb;地核金含量达2600 PPb;若按地球体重计算,金在地壳中的含量还不足地球金总量的0.002%。

上述事实反映了金在地球物质的早期分配中具有明显的亲铁性,而主要集中于地核内,其次是地幔。可以认为地壳中金矿床的原始成矿物质主要来源于上地幔。

二、金矿床成因的类型

金矿床的原始成矿物质虽来源于上地幔，然而上地幔的金进入地壳却有两种不同的分配；与地幔源岩一起侵位于地壳所形成的金的富集。地幔源岩进入地壳形成了含金量较高的地质体、但不构成金的矿床。这些富含金的地质体是在后期的多种的（以至多期的）地质作用下，金经过再迁移、再集中才形成了金矿床。为了反映上述金的直接矿源层的不同特点，可将内生金矿床划分为幔源金矿床和壳源金矿床两大类型。

（一）幔源金矿床

幔源金矿床见于与基性或碱性、超基性岩有关的岩浆硫化铜镍矿床。此类矿床中，常含有较高品位的金。并伴有银、铂、铋、铼等可供综合利用。矿床含金的总量可为小型、中型或大型，但从成矿元素整体看，铜和镍是矿床中的主要成矿元素，金为伴生元素，从未发现金作为主要成矿元素的独立金矿床。此类伴生金矿床如我国金川镍矿、南非的布什维尔德等属之。

（二）壳源金矿床

主要的壳源金矿床是在含金量较高的绿岩带或类绿岩带的基础上演化而产生的。就目前已知的资料，国外绿岩带对各类金矿床产出的控制作用已是普遍存在的事实，例如加拿大的波克普金矿、澳大利亚的卡尔古力金矿、印度的科拉尔金矿、南非的巴伯顿金矿等均产于24—29亿年以前的太古界绿岩带内。我国华北地台太古界地层（包括东北南部的鞍山群、山东的胶东群、河北的桑干群、河南的太华群、山西阜平群和五台群等）中，广泛发育有斜长角闪岩、黑云变粒岩等一套由基性和中性为火山岩原岩的老变质岩系、这套地层中具有明显较高的金含量。如夹皮沟金矿区内的鞍山群三道沟组斜长角闪片麻岩和角闪片岩中，金的含量达80 PPb，山东玲珑金矿外围的胶东群黑云母变粒岩及斜长角闪岩中，平均含金162 PPb，它们各高出地壳金克拉克值（3.5 PPb）的20—40倍。应当指出，对于我国上述地区太古代变质岩系的原岩是否为绿岩问题，尚有争论，但它与世界绿岩带一样皆属于来自于地幔物质的海底喷发是无疑的，这表明它们是地幔金的携带者，它是内生壳源金矿床形成的物质前提，地壳中绝大多数的金矿床是在它的基础上，经过重熔、分熔、交代和再改造作用形成的。并可根据其成矿作用的不同特点将内生壳源金矿分为若干亚类。

三、地幔地壳演化与内生金矿床的成矿规律

综上所述、从地球物质演化的角度、关于金的分配，迁移与富集等机制、可概括如下几方面。

1、地球早期演化阶段：金突出亲铁，集中于地核，地幔中。上地幔是提供地壳中金矿床成矿物质的主要来源。

2、地幔演化过程中、伴随地幔岩（Pyrolite）的分熔（Partial melting），金的亲铁性减弱，亲硫性增强（及似硫离子 Te、Sb、Bi 等）金主要富集于富硫及似硫离子的基性岩浆中，而在超基性岩浆中金则产生贫化（相对）。金的这种迁移规律，反映在全球性的幔源岩浆伴生金矿床，仅仅与产出铜镍硫化矿床的基性侵入体或含长石的超基性侵入体有关，而不见于各类无长超基性岩体中。

3、由地幔分熔出的基性或中基性的大量的火山物质（绿岩带或类绿岩带）是壳源型金矿床金的主要物质来源的载体和共生体，但它并不直接形成金的局部富集。主要的壳源型金矿床是在它的含金高的背景基础上经再次的迁移富集而成矿的。

4、壳源型金矿床成矿的地质、构造是多样的（变质、交代、重熔、混合岩化等），但金的活化淋出和成矿受严格的物化条件所控制。实验证明高级变质带（ $t > 400 - 500^{\circ}\text{C}$ ，深度 $> 10\text{km}$ ），在有水参加的条件下，金活化迁移，而在低变质带（ $t < 400^{\circ}\text{C}$ ）中，特别是温度在 $150 - 300^{\circ}\text{C}$ 间，压力小于 1500 atm 时，（相当于 5 km 以下）金沉淀富集。这就可以解释为什么国外产于绿岩带中的变质热液金矿均见于绿片岩中，也可解释我国北方高变质岩系中为什么未见有变质热液型金矿床。

5、花岗岩与金的成矿作用有两个明显的特点，尽管花岗岩类岩石的成因多样（重熔、分熔、交代、I型和S型等）但无论是重熔成因的花岗岩或交代成因的花岗岩作为酸性的新生的地质体（从总体看）并不都从母体中富集更多的金，（表1）相反地甚至有所贫化。然而金在花岗岩中的迁移富集却显示其亲铁性更加减弱，亲硫（及似硫阴离子）性更为明显以及亲卤素和亲硅的特点，因而在相当多的金矿床中，金与硫化物共生（特别是黄铁矿），并且与石英和硅化的关系特别密切。

金的亲硫性质为什么不会在花岗岩的产生过程中富集金，如上述当 $t > 400^{\circ}\text{C}$ 花岗岩产生时，金不论在子体或母体中均处于活化状态，没有金的沉淀富集条件，因而酸性岩石的产生并不能促成金的富集，只有在花岗岩晚期和形成之后，金才能在较低温度和较低压力条件下，产生金的沉淀（例如脉金的成矿）。

金为什么在地壳浅部亲 Te 、 Bi 、 Sb 等似硫阴离子和 SiO_2 而与 Pb 、 Zn 、 Cu 、 Ag 等亲硫元素具有不同的地球化学亲合性、这取决于元素结合规律、金的电子层结构为 $4\text{S}^{11} 5\text{d}^{10} 6\text{S}^1$ ，其电离能（ 2127卡/克分子 ）和电负性（ 2.3 ）比其同族元素铜和银都高。这导致了金在自然界化学性质不活泼趋向形成自然金或以低能阳离子状态（与 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 比较）与低能的 Te^{2-} 、 Sb^{2-} 等阴离子（与 O^{2-} 、 S^{2-} 比较，表2）结合形成金的 Te 、 Sb 化物。因此在多元素热水溶液体系中，即便是有硫和氧的情况下金也从不形成硫氧化物。金的这种低能的聚合特点决定了金在多矿物共生组合中常常在热水溶液较晚阶段中低温条件下析出。

表2 O、S、Te 离子电位和电负性

元 素	电 价	离子半径 ($\text{\AA}$)	离子电位	电 负 性
O	- 2	1.32	1.515	3.5
S	- 2	1.74	1.149	2.5
Te	- 2	2.11	0.447	2.1

6、金矿床的成矿围岩可以多种多样的，只要构造和温压条件适合，金即可能富集成矿、在金有较大迁移距离的多数情况下，围岩性质与金矿体的关系常常是机遇的。金矿床对围岩的要求没有明显的专属性。只有当围岩的环境有利于含金热液中的 HS^- 、 Cl^- 离子浓度降低和还原介质出现时，将导致金的沉淀和成矿。

主要参考文献略

原生大型金矿床的几个主要地质标志

张 建

(冶金部天津地质调查所)

为了生产大量黄金，各国都积极开展了金的找矿与勘探。在近些年我国已广泛地进行着这项工作，找到了几处大型金矿床，储量有了大幅度的增长。但与世界主要产金国相比，还很落后，并非是由于我国成矿地质条件差，而是因为找到的大矿不多。苏联一个穆龙套金矿，年产黄金达80吨，而南非产金一直居于领先地位，都是大型金矿床起决定作用的。

所谓大型金矿，各国理解不同，我国目前以金金属量10吨以上为标准，偏低了。我认为应从其整体的经济价值来考虑，须与大型铜矿相当，它的范围应限于一个生产矿区，在一个矿带上可能形成几个或更多的矿区。具体地说须拥有50吨金储量，才能达到大型的矿床。

大型金矿床的地质条件因类型不同有很大差别。国外有不少总结资料可以参考（见表1），其储量之所以大，主要在于延深。显然，凡是延深不大的，则不易构成大矿床。

什么地质条件贮存大型金矿床，就要看到世界的规律性，更要结合我国的情况，才能发现成矿最有远景的地区。

为此，首先要了解我国金矿的一般地质情况。由于我国金矿类型比较多，分布很广，成矿地质条件又不尽相同，因而必须掌握金矿床分布的共同特点，归纳起来有三条：

一、区域地质条件首要的是含金背景值高的地层或地质体，特别是有古老的中基性火山岩（已变质）发育的地区；

二、与控矿有关的深大断裂构造；

三、与矿化活动有联系的热动力源或母岩——成矿前的岩浆岩。

具备以上三个条件的地区是找矿最有远景的。进一步要从这种成矿有利地区找出矿床的标志来。

一、含金背景值高的地层或地质体 具有世界性的规律之一是：太古代大量基性火山岩和部分超基性火山岩的堆积为前寒武纪岩石中金属聚集的首要条件。变质后，中、基性火山岩为黑云母角闪石斜长片麻岩、斜长片麻岩、黑云母变粒岩、角闪片岩等组成的绿岩带，其中金丰度较高（有的达0.2克/吨），而且成粒状的可见金。到元古代居统治地位的是沉积作用，为金属原始聚集的第二个条件，其中部分也有基性岩，如下震旦细碧角斑岩系，含金达0.1克/吨。古生代褶皱区的泥盆系下石炭系的变质的中、基性火山岩带也有稍高的金含量。

表 1 国外延深金矿田和矿床的主要资料

矿田和矿床产地 (国家)	矿体主要形态类型	H (米)	储 量 (吨)	P (吨/米)
	产于绿片岩化和闪石化陆 源火山岩岩层中的矿床			
科拉尔 (印度)	脉带, 细脉带, 透镜体带	3500	700	0.20
莫罗—维洛 (巴西)	细脉浸染矿带	3000	250	0.08
肯—莫托尔 (津巴布韦)	矿脉, 细脉带	2000	150	0.08
霍姆斯杰伊克 (美国)	脉带, 细脉状和浸染状 矿体	1900	900	0.25*(0.47)
格洛布—费尼克斯 (津巴布韦)	块状和树枝状矿脉	1500	120	0.08
利奥诺拉 (澳大利亚)	脉矿	1500	80	0.06
芒特—马格内特 (澳大利亚)	浸染状矿带和矿筒	1510	40—50	0.03
洛内利 (津巴布韦)	矿脉, 浸染矿带	1500	50—60	0.04
霍恩 (加拿大)	管状和缟状浸染矿体	>1300	230	0.18
马德圣雷德—莱克 (加拿大)	浸染矿带	1280	60	0.05
波尔基尤潘斯 (加拿大)	矿脉带, 细脉带和细脉状 浸染矿带	1200	1550	0.25*(1.29)
布莱洛恩—帕伊奥尼尔 (加拿大)	矿脉	1200	120	0.10
卡尔古利 (澳大利亚)	浸染矿带, 稀疏树枝状 矿脉	1200	1050	0.25*(0.87)
诺斯曼 (澳大利亚)	矿脉, 细脉状矿体和浸染 矿体	1000	120	0.12
奥布赖登 (加拿大)	矿脉	1000	65—75	0.07
平 均		1640	367	0.12
	产于砂质片岩岩层中的矿床			
亚山蒂 (加纳)	块状矿脉	2000	450	0.22
普雷斯特阿 (阿里斯通) (加纳)	块状矿脉	2000	200	0.10
		1400	700	0.20*(0.50)
本迪戈 (澳大利亚)	鞍状矿脉			
马泽尔洛德 (美国)	块状矿脉	1500	400	0.27
巴拉拉特 (澳大利亚)	层状矿脉	1050	100—110	0.10
吉姆波 (澳大利亚)	块状矿脉	1000	110—120	0.12
里弗通 (新西兰)	块状矿脉	850—1000	63	0.08
平 均		1430	290	0.16

续 表 1

矿田和矿床产地 (国家)	矿体主要形态类型	H (米)	储 量 (吨)	P (吨/米)
	产于侵入体的内、外接 触带的矿床			
克尔连德—莱克 (加拿大)	块状矿脉, 细脉带, 网状 矿脉	2100	700	0.30
上陶恩山系 (澳大利亚)	块状矿脉, 浸染矿体	1500	大于 100	0.07
格拉斯—瓦利—内华达 —锡蒂 (美国)	块状矿脉	1100	324	0.29
查尔特尔斯—塔乌艾尔斯 (澳大利亚)	块状矿脉	1000	190	0.19
平 均		1140	264	0.21
	产于小岩墙状岩株和岩床 中的矿床			
圣安东尼奥 (加拿大)	矿脉带, 细脉状和网脉状 矿脉	1500	40	0.03
马拉尔蒂克 (加拿大)	浸染和细脉矿石带	接近1500	180	0.12
拉马克—锡格马 (加拿大)	块状矿脉	1000	130	0.13
平 均		1340	117	0.09
	产于破火山口火山房的矿床			
西尔维尔通—特卢里德 (美国)	树枝状和块状矿脉	1300	220—240	0.18
克里普尔—克里克 (美国)	块状矿脉	1000	600	0.60

注: * 计算数据的平均值。H 探矿工程确定出的矿化纵深范围, P 矿床每加深 1 米时金储量增长值。

引自 E. M. Некрасов (1980): 国外矿化垂直延深大的金矿床
《Известия АН СССР》“Серия геол” 1980, №3, 108—123。

这些古老绿岩的地球化学组成与当今的基性—超基性岩含金量不同。现在洋壳的大洋中脊没有矿床, 实际上矿床都集中在陆壳 (包括其边缘地带) 中。这可能是因为硅铝质地壳是外生—生物作用、变质作用和伴随着超变质作用的岩浆作用长期发育的产物, 因而造成了各种大陆地壳的矿床。

二、在太古代绿岩或其混合岩化隆起的边缘凹陷区是生物活动与沉积作用最强烈的地带, 其中炭质建造通常富含多种元素, 如磷、锰、钒、银、金、铀、钼、稀土、锶等, 是这些元素独一无二的地球化学堆积场所。因此, 在炭质岩石中能形成富含金的黄铁矿矿床, 而且往往最富的矿石产在含炭质最高的地段。在前寒武纪和显生宙建造的上述有机质中富含的多种元素成分惊人地一致, 可能是生物化学作用的机制相同的缘故。

三、有利的成矿地质构造 太古代绿岩台块中的凹褶带富含铁镁质的上古生代碳酸盐岩（或元古代含碳质大理岩），其中可能有基性火山岩夹层，于碳酸盐岩中有层状含金黄铁矿、磁黄铁矿或其它含金硫化物矿床。

隆起区的太古代绿岩经混合岩化部分或地台区断陷盆地的火山岩或次火山岩中，须注意含金黄铁矿型矿床。

台背斜、槽背斜边缘断裂构造是成矿的通道或控矿的位置。在上述有利的矿源层或有利于金沉淀的断裂或层间裂隙发育区，特别自太古代以来曾多次继承性活动的断裂对成矿最有利。

四、在我国与金矿化关系密切的花岗岩类 岩石有两大类：一为太古代变质岩在后期混合岩化的基础上于原地形成的混合岩或混合花岗岩；一为太古代——古生代变质岩基底断陷盆地边缘形成的钙碱性中——酸性岩浆岩（花岗岩火山岩及次火山岩），是基底重熔再生的产物。

各种类型（地球化学类型和形态类型）的潜在含矿侵入体的结晶分异作用、喷气分异作用和去气作用的特点为评价其含矿性和局部预测含矿侵入体发育区内成矿元素和稀有元素浓度异常（包括工业品位的浓度异常）地段的形成条件提供了可能性。

去气作用的多阶段性是大部分内生金属矿床与之有关系的浅成侵入体的特点。在浅成侵入体的岩浆的挥发组分及与之有关的成矿元素和稀有元素多集中到侵入体顶部，形成浓度异常区，比其深部浓度增高2—5倍。

岩浆成因的浓度异常区可分为3类：岩浆阶段的、气成阶段的和热液阶段的。岩浆阶段的浓度异常区可再分为6种：1、侵入体顶部浓度异常区；2、岩浆分熔过程中产生的浓度异常地段；3、侵入体围岩中的喷气晕；4、爆发矿化角砾岩；5、喷气在成矿前把成矿元素和稀有元素带到弱渗透带中而成的浓度异常地段；6、围岩中的成矿前交代岩带。

侵入体围岩中的喷气晕多为中生代浅成侵入的喷气晕。晕中稀有元素和成矿元素的浓度异常等于背景值的2—3倍，如Li、F最大浓度通常见于内接触带50—100米范围内。

结晶水的喷气晕在围岩中高（1.48%），花岗岩中较低（0.81%），离顶板1000米处水的含量达到最高值（2.19%），以后再下降。水量低的地带相当于黑云母角闪岩区，接近于背景值时为水黑云母—白云母亚相。铅汞喷气晕远离侵入体。

爆发矿化角砾岩浓度异常区特别有意义，为近地表侵入体形成的。有的呈线状延伸，厚数百米，有的呈管状，其中可含有大量有用矿物，为开采对象，如Mo、Cu、Au等。

含矿侵入体岩浆期后阶段产生的浓度异常区可能是多次形成的，这不仅因为岩浆期后作用的发展是阶段的，而且由于潜在含矿侵入体中可能有若干个能够产生含矿喷气的岩浆源。不论气成阶段或热液阶段浓度异常区均出现在饱含挥发性组分的花岗岩类岩浆的浅成侵入体。

五、围岩蚀变 在金矿床中由于围岩受到交代改造作用，在裂隙通道附近发生了绢云母化，碳酸盐化，在中部带发生绿泥石化，在边缘部分发生碳酸盐化。在近矿交代岩

中许多元素的含量都偏高，成矿元素中有金、砷、银、汞。矿体中与矿体共生的浓度异常区内的成矿元素的数量是可以对比的。

气成阶段和热液阶段成矿元素浓度异常区形成的强度和规模决定了潜在含矿侵入体的含矿量。一般情况下，气成阶段浓度异常区产在浅成侵入体岩钟接触面两侧的很窄的内外接触带。热液阶段浓度异常区则产在较宽阔的内接触带。

现在，我们再来研究世界各国延深很大的大型金矿床的特点及其地质标志。

一、产于绿岩带地区的金矿床 这类矿床的突出特点是由少量硫化物浸染和细脉浸染矿石组成的较厚的矿体。矿体主要呈交错带、层状和透镜状产出，最大厚度达几十米，我国金厂峪金矿就具有这个特点。这类矿床有时在平面图上呈延伸性不大而深度较大的管状体，如加拿大的霍恩矿床。金的分布较均匀，但含量较低，常为4~8克/吨。从其规模和延展深度上都是最有远景的。

赋存这类矿床的破碎带、少数大断裂和片理化带都受到了矿化。这些含矿破碎带往往与控矿的大断裂带相连。

这类矿床主要是在区域变质作用之后形成的，在我国由于地台是不稳定的活化区，一个矿区常具多代成矿的特点，除金以外，铜铅锌等都有经济价值。

这类矿床尽管延深很大（详见表1），但在垂直间隔内矿石的矿物成分保持恒定不变。均以黄铁矿浸染为主，其次是黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、少量的硫锑银矿和斜方硫砷铜矿以及极少量的金碲化物的浸染。脉石矿物有石英、钠长石以及次要的碳酸盐矿物。

二、产于片岩类中的金矿床 矿化局限在轻度或中等变质的、挤压为褶皱的硅酸盐岩石中。其中典型的交错充填脉十分发育，脉中矿石有角砾构造，矿脉有清晰的直线接触带。

在这类矿床中，矿化在较狭窄的区域性纵向大断裂带里发育，并且矿化发生在延伸距离大，在水平方向和剖面上彼此连续交替的大量小型横向断裂系中为特征。有的呈多层鞍状矿脉，为窄背斜脊部大量剥离洞穴被充填的产物，如澳大利亚本迪戈矿床，鞍状矿脉依次层迭在垂深1400米的范围内。

三、产在侵入体内、外接触带的金矿 这类矿床的矿体产于大断裂（及其相伴的裂隙带）以及厚度较小而延伸长度大的断裂带中。所有这些含矿的断裂带主要集中在岩浆岩体呈直线延伸的、变形最剧烈而常呈纵向分布的接触带。矿体分布的最大深度可达2100~2300米，如克尔连德莱克矿床（参看表1）。含矿断裂为区域性断裂带的羽状断裂，延伸超过5公里。具有厚大的（几米至30米）含金石英脉的含矿断裂带，呈束状矿脉带。金矿化发育比较均匀，不同深度的矿石成分非常稳定。在各中段的石英中都含有似乎等量的硫化物，其中以黄铁矿为主，其次为赤铁矿、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿和闪锌矿等。金的碲化物和金属的碲化物极少，而是以自然金存在于石英中。

四、产于岩墙状岩株和岩床中的矿床 其明显的特征是：矿化普遍发生在垂直走向或倾向并呈直线延伸、厚度较小的中、酸性岩墙状岩体的断裂中。当含金断裂进入层状围岩时即很快尖灭了，矿体也随之消失了。这种矿脉为典型梯状脉。矿体在空间分布受区域性大断裂带的控制。

五、产于破火山口的矿床 这类矿床除美国的克利普尔—克利克和西尔维尔通—特卢里德两个矿床以外，于美国、墨西哥、加勒比盆地和秘鲁、日本、苏联的远东、台湾省、菲律宾、印度尼西亚、新西兰、斐济岛等现在开采的60—70个矿化规模巨大的矿床，金矿化延展的深度距现在地表不过500—700米。

矿床的地质特征，主要是矿化发生在切割火山房的，或占据了火山房中放射状破裂带位置的含矿大断裂带中。

矿体弯曲状，沿隆起和在侧翼部向上呈树枝状延伸的矿脉。其内部构造复杂多变，常被细脉带所代替。矿石为硫化物的或是金银的。后者以胶状、环状、带状和缟状等构造为主。其中含矿石矿物极少，不超过矿物基质总量的1%。

六、大型矿床的构造特点 主要的有以下几点：

1、大多数深延矿床都产于地壳下部构造层。在地台活化区有些典型的，产于上部构造层（地台盖层的火山构造带）的近地表矿床。

2、矿化出现在两种类型的破裂带：（1）含矿断裂带和与其连接的、延伸距离大的羽毛状破裂带；（2）延伸达几公里、彼此不断交替，赋存主向矿体的多组含矿断裂群。

3、主矿体集中在一条或几条延伸长度最大的断裂带。

4、位移总幅度不过几十至几百米的含矿破裂的古老堆积作用和多次改造。

5、矿化限于直线延伸的、厚度巨大的断裂带；成矿前的横向裂隙适度发育。

除总结上述情况外，还可以归纳大型金矿床有五个向深部显示矿化的主要地质标志。

第一种标志，也就是最主要的标志，是矿床没有明显的垂直构造分带和矿物分带。

第二种标志，是沿走向或倾向的容矿断裂和矿体内部结构构造和形态的变化不大，惟羽状矿化断裂带及其中的含矿岩枝随深度逐渐减少。

第三种标志，是大型矿化规模在长又宽的、以许多含矿断裂为特征的带，这些断裂构成了延伸几公里的裂隙系统。这种容矿裂隙系很可能是一些分散型断裂带，它反映在矿区的基底内还有明显的和更巨大的断裂带存在，它们对含矿溶液的流通起了通道作用。

第四种标志，是垂向上矿物的数量及相互间的比例的变化不大。在脉型矿床中，由于矿石的块状和浸染状构造作用的增加，角砾状、柱状、斑点状和带状等矿石构造则随深度略有降低。

第五种标志，是矿石中金含量随深度有变化，在矿床上部较高，中部均匀而稍低，下部则明显地降低。

参考从略

金矿成矿作用的多样性与多期性及金矿床的多成因性机理的探讨

林文通

(合肥工业大学)

一、引言

金具有不氧化和不易与其它元素构成化合物的特性,因此金是一种贵金属。除了国际上常以黄金代表货币储备及制作珠宝工艺品外,还应用于化工工业、电子工业及尖端科学技术,如核反应堆、喷气飞机、火箭、宇航等国防工业中。

二、金矿的形成与分布的基本特征

金矿的形成与分布具有如下复杂的基本特征。

(1) 金主要形成自然元素矿物——自然金产出

金以自然金产出于各种金矿床中,其原因主要与金在化学周期表上的位置和金原子组态有关。金的原子序数为197.2,天然稳定同位素只有一个, ^{197}Au 为49+1型。金位于铜系元素之后,其电子是进行多次的层充填为特点,这可以从金的原子组态: $\text{Au}[(1\text{S})^2 (2\text{S})^2 (2\text{P})^6 (3\text{S})^2 (3\text{P})^6 (3\text{d})^{10} (4\text{S})^2 (4\text{P})^6 4(\text{d})^{10} (4\text{f})^{14} (5\text{S})^2 (5\text{P})^6 (5\text{d})^{10} (5\text{f})^0 (5\text{g})^0 (6\text{S})^1]$ 和金的电子构型:本应为 $\text{Au}[(5\text{d})^9 (6\text{S})^2]$,而实为 $\text{Au}[(5\text{d})^{10} (6\text{S})^1]$ (金的5d第10个电子是从(6S)轨道上夺来的),可以看出金原子是经过多次内层充填,因而钻穿反应很突出,即(6S)电子钻到原子核附近的机会较多,造成其平均位能降低,因而(6S)¹电子不容易失掉。同时,由于多次内层充填,核电荷增加很多,而原子半径增加不大(受铜系收缩的影响)。由于核电荷增加是主要的影响,因而核电荷对外层电子的吸引力增强,这不但更使(6S)¹电子不容易掉失,同时导致金的第一电离势(9.22eV)、电负性(2.4)及氧化还原电位($E_h = +1.70$)都很高,这就使金在自然界中常成原子状态存在,而且金的化学性质不活泼,不易与 O^{2-} 、 S^{2-} 、 Cl^- 等阴离子或 $[\text{SO}_4]^{2-}$ 、 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 等络阴离子结合成稳定的矿物,所以金在各种类型的矿床中均成自然金产出。

(2) 金具有一定的亲硫性,与硫化物共生密切。

一般说,金具有疏氧和硫的性质,但金也有一定的亲硫性。这是与金的电子构型有关:金的电子构型为 $\text{Au}[(5\text{d})^{10} (6\text{S})^1]$,属铜型离子,这些离子,有强烈的亲硫性,而金只具有弱亲硫性,金并不与硫化合,形成金的硫化物,而是呈自然金状态赋存于硫化物中。但近年来发现硫金银矿 $[(\text{Ag}_3\text{Au})_4\text{S}_2]$,表明在一定的条件下,金也可与硫化合。由于上述原因,所以金与硫化物共生密切。金常与铜、铅、锌有时还有铋和锑的硫

化物共生。如我国某大型铜矿床含金总储量相当于一个大型金矿床。即使是含金石英脉矿床，其纯的石英脉含金量低或不含金；而石英脉中含有黝铜矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿共生时含金量大大提高，如台湾的金瓜石金矿。一般说在有色金属硫化物中含金量具有黄铜矿>闪锌矿>方铅矿的变化规律性。

(3) 金具有亲铁性，与含铁矿物共生密切

金是周期表中位于下部的一种元素，属于亲基性元素，而亲基性元素几乎毫无例外地都受到铁的影响和控制。因此，从这一意义上说，金又是亲铁元素，而且金的亲铁性大于亲硫性。例如铁陨石中含金5—10克/吨，比地壳各类岩石的平均含量高达1000倍以上；在磁铁矿中含金可达0.048克/吨。在铁镁硅酸盐矿物中也有较高的金含量，如辉石可达0.016克/吨，橄榄石可达0.014克/吨。例如我国夹皮沟金矿磁铁矿中含金量可达20PPm。另外金与硫铁矿物的关系也很密切，在硫铁矿床中含金量较高，在含金硫铁矿床的铁的硫化物中，金的含量存在有毒砂>黄铁矿>磁黄铁矿>白铁矿>镍黄铁矿的变化规律性。

(4) 金矿的成矿物质来源于深源，而富集成矿则是多种地质作用的结果。

在地壳中金是一种分散元素，它的克拉克值极低，为 $4.3 \times 10^{-7}\%$ （维诺格拉多夫，1962）或为0.004PPm（泰勒，1964）。由于金的原子量（197.2）和比重（15.6—8.3—自然金，纯金为19.3）都很大，所以金与铁一样，在地球分异演化过程中向地球内部富集。这可以从地球的岩浆岩从酸性岩到超基性岩金的含量递增的变化规律得到说明。岩浆岩从酸性到基性、超基性金的含量如下：

花岗岩	$3.2 \times 10^{-7}\%$
闪长岩	$3.5 \times 10^{-7}\%$
花岗闪长岩	$4.0 \times 10^{-7}\%$
正长岩	$4.4 \times 10^{-7}\%$
石英玢岩、粗面岩	$5.4 \times 10^{-7}\%$
辉绿岩、玢岩	$6.5 \times 10^{-7}\%$
辉长岩	$8.7 \times 10^{-7}\%$
超基性岩	$9.4 \times 10^{-7}\%$

根据上述的各类型岩浆岩中金含量数据可知，在各类型岩石中，金最富集于来自幔源的基性和超基性岩浆岩中，特别是在富铁、镁、钠质的纯橄榄岩——斜方辉橄岩类超基性岩中，含金量高达 $21.3 \times 10^{-7}\%$ ，这一数据比一般的岩石高出许多倍。如果从地壳到上地幔，金的含量向地球深部递增的情况来分析，可知金的来源应是深源的，即是幔源。但从另一方面来看，当岩浆从超基性向酸性演化的过程中含金量的递减，必然会降低残余岩浆中金含量，则金趋向于分散。同时，基性和超基性岩多侵入或喷出于古老变质岩的地层中，因此金是分散于地壳的岩石中，则金的来源又是壳源的。这样要使金在地壳表层相对富集成矿，就必须是各种地质作用叠加的结果。这个问题下面还要进一步探讨。

(5) 金矿主要分布于古老变质岩地区为特点

许多资料表明、大型的、重要的、分布多的金矿多分布于古老变质岩系中，世界上

75%金矿储量产在古老变质岩地区。这是由于这些地区盖层薄，基性火山岩较发育，深部物质上侵较多，因而区域的金背景值高，为金的富集成矿提供了物质基础。

由基性火山岩变质形成的绿片岩，含金量往往很高，如太古代绿片岩带金的丰度值比地壳高出1—3倍。尤其是中、基性火山岩与碳酸盐岩的组合，含金量可高出1—2个数量级。在变质作用时，碱性变质热液从围岩中溶出金，可能成 $[\text{AuS}]^-$ 形式运移，所以认为硫是变质作用中金的搬运剂和富集剂。在金被溶出的同时，也从围岩中溶出大量的 Na_2SiO_3 。因此，在自然金析出时也大量沉淀出石英，同时在脉石中还有方解石、重晶石、电气石等。变质溶液中的 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 、 $[\text{BO}_3]^{3-}$ 、 Ba^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 等也均来自围岩。另外，一般说，火山岩的变质作用有利于金的运移富集。例如火山岩的青盘岩化使金从辉绿岩墙中析离出来，后期的蚀变，如黄铁绢英岩化也使金的含量增高。在区域变质时，在高变质带产生金的活化运移，在低变质带沉淀出金矿。亦即在高变质相（由片麻岩和粒变岩组成）产生金的活化运移、在低变质相（由绿片岩和花岗岩组成）沉淀出金矿。

变质岩地区产生的含金石英脉，一般多含有较多的硫化物。这些金矿的成矿时代主要是中生代晚期燕山运动的产物。如吉林桦甸夹皮沟、山东招远玲珑、掖县焦家、三山岛、安徽五河、霍山隆兴等金矿。另外还有新生代喜山运动的产物，如台湾金瓜石金矿，含矿地层为第三纪的砂岩与页岩，由火山活动和石英安山玢岩侵入而成矿；及吉林延吉八道沟金矿，产于第三纪集块岩和安山岩中。

（6）产于石灰岩地区的卡林型金矿是金矿的一种重要的成因类型

卡林型金矿是60年代在美国内华达州发现的，在美国的金矿产量中，居第二位。找矿前景大，是一个很有远景的金矿类型。卡林型金矿是地下深部渗流热卤水成因的一种金矿。矿床的主要特征：产于石灰岩地层中，特别是含有泥质、粉砂质岩夹层的碳酸盐地层中。成矿温度为中、低温卤水热液，具有典型的中、低温矿物的共生组合，如自然金、黄铁矿、辰砂、辉锑矿、自然银、砷化物（雄黄、雌黄、毒砂、砷黝铜矿）及脉石矿物（石英、方解石、白云石、重晶石、粘土矿物等共生组合。元素的共生组合以Au、As、Hg、Sb、Ba、Ag为特征元素。矿石中硫化物较少、矿石为微细粒浸染状，自然金粒度细为次显微状。主要的载体矿物为黄铁矿及粘土矿物，金的成色高、Au/Ag（储量）比值高；金矿床与汞矿带共生密切，并经常与重晶石共生，这是因为在卤水中Ba的溶解度大，能形成重晶石脉，这是卤水成矿的特点。含矿地层主要为古生代和中生代的地层，矿床和矿体的分布均受构造控制，矿体与围岩界限不清楚。围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、重晶石化和粘土化等。根据这些特征可知，卡林型金矿应是在渗流热卤水溶液在近地表（约100米左右深度、成矿温度约200℃左右）硫逸度 $f\text{S}_2$ 较高、氧逸度 $f\text{O}_2$ 变化较大的条件下形成的。近几年来，我国也先后找到了卡林型金矿，如陕西太白双王、勉县李家沟、镇安二台子、贵州册亨板其、三都、苗龙、丫他、湖北通山、湖南衡东石峡等金矿均属于卡林型金矿。我们应该在古生代和中生代石灰岩分布地区，有一定的成矿构造控制和在汞矿带中或其附近进行普查找矿，以发现更多的卡林型金矿。

（7）内生热液金矿床，在高温条件下金被溶解、运移；中、低温条件下金产生沉

沉淀富集

金在内生成因的富含挥发性组份（水、二氧化碳、硫化氢等）、富氧及碱质的热液环境中，在高温条件下被溶解、运移；中、低温条件下沉淀富集，这是因为在气成和高温热液作用时，金很活泼、被溶解、运移；而金是在热液沸腾时，产生强烈的去氧作用条件下沉淀的。而且有碱金属 K、Na 存在时可使热液碱化，并提高氧化程度，形成金的搬运剂，也可中和酸性溶液，促进金的沉淀。在热液金矿床内，当硫逸度 fS_2 很高时，在早期硫化物阶段析出硫化物过程中，金开始沉淀；在晚期硫化物阶段，金大量沉淀。因而形成含金石英脉、含金黄铁矿脉，含金磁黄铁矿脉等。根据包裹体测温及实验资料，热液型金矿床形成温度在 $30^{\circ}\sim 450^{\circ}\text{C}$ 范围内变化。可粗略地分为三个成矿阶段：高温阶段， $320^{\circ}\sim 450^{\circ}\text{C}$ ，为早期不含或微含金阶段；中温阶段， $130^{\circ}\sim 320^{\circ}\text{C}$ ，为金的主要成矿阶段；低温阶段， $30^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{C}$ ，为微含金阶段。但与中、酸性火山活动有关的低温热液可形成金银矿而富集成矿，常含有金的确化物（碲金矿 Au_2Te ），并与硒化物共生。

（8）沉积成因的胶体矿物中微粒金被岩浆热液改造的特点

沉积成因的胶体矿物中微粒金（如胶状黄铁矿中的自然金微粒 $< 0.1\mu$ ），被岩浆热液改造时，高温热液比中、低温热液改造金的结晶颗粒大，含金量也更富集。例如铜陵地区的天鹅抱蛋山含金硫铁矿床与新桥含金硫铁矿床同属于中石炭纪黄龙组的白云岩含矿层位，前者为高温热液改造；后者为中、低温热液改造，所以前者比后者金的结晶颗粒大，含金量更富集。而且经过高温热液改造的天鹅抱蛋山含金硫铁矿床中硫化物含金量存在有毒砂 $>$ 黄铁矿 $>$ 磁黄铁矿 $>$ 黄铜矿 $>$ 闪锌矿 $>$ 方铅矿的变化规律。从这些金的载体矿物中金含量的变化，也反映了金被改造的特点。

（9）砂金的颗粒和成色总比山（岩）金（或脉金）的颗粒大，成色高为特征

砂金的颗粒大，原生的山金颗粒小。砂金的大小可从细小的片状“粉金”一直到巨大的“狗头金”，5 公斤以下的狗头金最常见。例如 1858 年在澳大利亚的巴拉纳特金矿发现的最大狗头金重达 83.95 公斤。金是如何聚集在一起形成巨大的狗头金尚未查清。但一般可以认为金在近地表条件下被溶解运移；在有地球化学屏障的地区被还原再沉淀这个模式来解释。例如在金矿床中含有 Cl^- 、 Mn^{2+} 的矿物和黄铁矿时，在矿床氧化带可生成 AuCl_3 ，它能溶于水中被运移；当地表水中富含 CO_2 时，黄铁矿被氧化，形成可溶性的 $[\text{Au}^+(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 络合物而被运移；或有机物的糖苷水解后生成 $(\text{CN})^-$ ，与金结合为可溶性的 $[\text{Au}^+(\text{CN})_2]^-$ 络合物而被运移。而可溶性 Au 的络合物被还原再沉淀的地球化学屏障有：硫酸盐障（如重晶石），碳酸盐障（如孔雀石、方解石）及碱性障（PH 值 7~8）等。

另外，砂金中金粒的成色比山金中金粒的成色高，一般山金的成色在 500~850 之间；而大部分砂金的成色在 800 以上。而且砂金搬运的距离愈长，成色愈高；颗粒愈小，成色也愈高。例如美国加利福尼亚的山金的成色平均为 850，而同地的第三纪砂金则平均为 930~950；同时有些狗头金外部的成色高于内部的成色。主要的原因可能由于近地表的山金被溶解、搬运、再沉淀时，金粒中的银被析出；而后者则可能由于外部的银在搬运过程中已被溶出有关。

(10) 碱性强氧化或酸性高碱质环境有利于金的溶解、运移, 中性还原环境有利于金的沉淀富集。

金的 PH 值为 5.0~5.5, 所以金在酸性环境或碱性环境下被溶解。当溶液中如有较多碱金属 K、Na 存在时, 一方面可使溶液碱化, 促进金的溶解; 另一方面也可中和酸性溶液, 促使金的沉淀。

金是来自上地幔的基性、超基性岩浆的产物, 也来源于地壳的各种围岩。由于基性、超基性岩的花岗岩化、围岩的区域变质作用、热液作用、接触交代变质作用、风化作用等地质作用, 金被溶解转入溶液中被运移。在溶液中金主要以氯化物络合物 (Au^+Cl 、 $\text{Au}^{3+}\text{Cl}_3$); 硫化物络合物 (Au_2S); 硫氢化物络合物 [$\text{Au}^+(\text{HS})$]; 钠、钾的硫盐络合物 ($\text{Na}_3[\text{Au}^{3+}\text{S}_3]^{3-}$ 、 $\text{K}_3[\text{Au}^{3+}\text{S}_2]^{3-}$); 砷化物和硫砷化物络合物 ($[\text{Au}^+\text{As}]^{2-}$ 、 $[\text{Au}^+(\text{AsS}_3)]^{2-}$ 、 $[\text{Au}(\text{AsS}_2)]^-$); 硫酸盐和硫代硫酸盐络合物 (如 $[\text{Au}^+(\text{SO}_4)]^-$ 、 $[\text{Au}^+(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$); 有机金属化物络合物或螯合物如 ($[\text{Au}^+(\text{CN})_2]^-$ 、 $[\text{Au}^{3+}(\text{CNS})_4]^{1-}$ 、 $\text{P}\cdot\text{AuSi}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$) 等可溶性络合物被运移。它们是在各种不同的地质作用形成的。此外, 在表生作用下, 金也以微粒金的悬浮物或金的胶体溶液在地表迳流中进行运移。

上述的各种可溶性金的络合物等, 只有在中性、还原条件下才能沉淀富集。

三、金矿成矿作用的多样性与多期性

由于金可在不同的介质溶液中形成不同的可溶性络合物被溶解、运移, 而在一定性质的溶液中沉淀富集。所以金矿可以在各种成矿作用的条件下形成, 因之金矿的成矿作用是多种多样的, 即金矿的成矿作用是多样性的。金矿的成矿过程中存在如下的多样性的溶解、运移和沉淀富集的规律。

(1) 变质成因的含硫的碱性热液, 从围岩中溶出金, 形成可溶性 $[\text{AuS}]^-$ 络合物形式运移的。同时, 也从围岩中溶出大量的 Na、 SiO_2 及部分的 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Fe^{3+} 、 CO_3^{2-} 等。当金以自然金从溶液中析出时, 也大量地沉淀出石英及少量的方解石、重晶石、黄铁矿等。这可能是在古老变质岩地区形成含金石英脉的成因。这种成因的含金石英脉, 常与硫化物共生。

(2) 当碱性溶液中氧的逸度 $f\text{O}_2$ 很高时, 金可形成可溶性的 $\text{Na}[\text{H}_2\text{Au}^{3+}\text{O}_3]^-$ 、 $\text{Na}_2[\text{HAu}^{3+}\text{O}_3]^{2-}$ 、 $\text{Na}_3[\text{Au}^{3+}\text{O}_3]^{3-}$ 络合物被运移。这时, 由于硫的逸度低, 金不与硫形成可溶性络合物, 所以被还原沉淀时, 只形成自然金, 不与硫化物相伴生。这可能是产出于古老变质岩地区的简单含金石英脉的成因。

(3) 在内生成因的热液中, 当 O_2 与 NaHS 的浓度均很高, 出现碱性强氧化环境时, 金的溶解度大大升高, 形成可溶性 Au_2S 、 $\text{Na}[\text{Au}^+\text{S}]^-$ 、 $\text{Na}_3[\text{Au}^{3+}\text{S}_3]^{3-}$ 、 $\text{Na}_4[\text{Au}_2\text{S}_5]^{4-}$ 及 $\text{Na}[\text{Au}^{3+}\text{S}_2]^-$ 等络合物被运移。这是由于金原子核有很强的吸引外层电子的能力, 要使金成为 Au^+ 及 Au^{3+} 离子形成可溶性硫化物或硫盐络合物转入溶液, 需要有强烈的氧化环境。另外, 金也可形成可溶性的硫氢化物 $[\text{Au}(\text{HS})]$ 络合物被运移, 或在碱性含砷和硫砷溶液中, 金可形成砷化物和硫砷化物的可溶性络合物, 如 $[\text{Au}^+\text{As}]^{2-}$ 、 $[\text{Au}^+(\text{AsS}_3)]^{2-}$ 、 $\text{Au}^+[\text{AsS}_2]^-$ 等被运移。当铁、镍、钴的砷化物和